

## (2) ネットバリアー工法(C2)による剥落防止工法と適用事例

(株)フジタ 正会員 伊藤祐二  
(株)高環境エンジニアリング 正会員 秩父顕美

### 1. はじめに

近年、トンネル覆工コンクリートや高架橋コンクリートの劣化による剥落が大きな問題となり、繊維シート接着による剥落防止対策が各方面で活発に行われようとしている。しかし、鉄道や道路などでは補修を必要とする構造物が数多く存在し、供用中に施工するため時間的な制約が大きいことから、施工性が良好でかつ経済的な補修技術が強く望まれている。

このような背景から、工程を短縮して経済的な剥落防止対策を施工するために、ネットバリアー工法(C2)(以下、本工法)を開発し、その概要、特長、強度特性、耐久性および適用事例について報告する。

### 2. 工法概要

本工法はポリマーセメントモルタルをライニング材に用いて、繊維シートを接着し、アンカーで固定する工法である。本工法では繊維シートに、アラミドとビニロンの格子ネットにポリプロピレンの不織布を一体化させた立体網目不織布を用いる。本繊維シートには柔軟性があり、耐アルカリ性に優れ、さらに不織布の効果により、ライニング材として用いられるポリマーセメントモルタルのひび割れを防止する。

ポリマーセメントモルタルには速硬形と普通形があり、前者は施工時間の制約が大きく1日の施工時間として数時間程度しか確保できない場合に(鉄道トンネルなど)、後者は一般RC構造物のようにある程度施工時間を確保できる場合に使用する。

アンカーは施工直後に供用を開始する必要がある場合などに使用し、その材質はSUS304で、注入口が付いており、脚部拡張後樹脂を注入して固定する。ポリマーセメントモルタルは付着強度が大きいので、剥落片が小さい場合にはアンカーを省略することも可能である。

図1に工法の概要を、図2にRC構造物の場合の施工フローをそれぞれ示す。工法の構造と施工フローは単純であり、工程短縮に大きく寄与している。

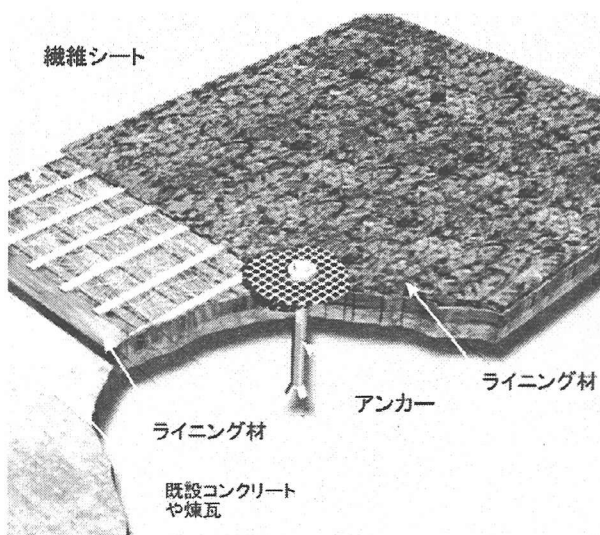


図1 工法の概要

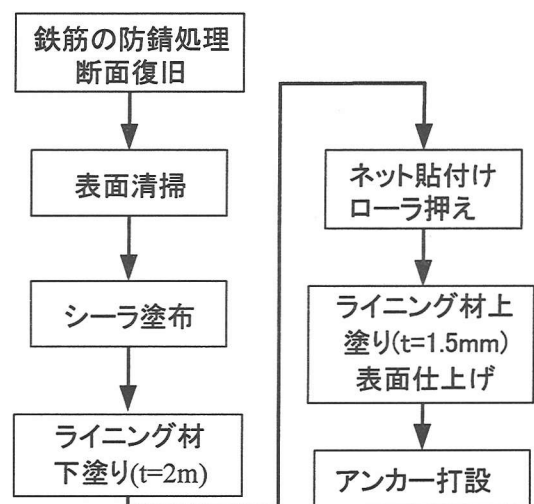


図2 RC構造物の場合の施工フロー

キーワード 剥落防止工法, ポリマーセメントモルタル, 繊維シート, 付着強度, 押抜き試験

連絡先 〒253-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 (株)フジタ技術センター Tel.046-250-7095 E-mail:yito@fujita.co.jp

樹脂系接着剤を用いて繊維シートを接着する剥落防止工法と比較して、本工法の特長を以下に列挙する。

- a) 1日 で全工程を終了可能である。
- b) コンクリート表面の小さな凹凸に対するプライマー塗布や不陸修正(パテ工)が不要である。
- c) 湿度が高く結露する場所や、湿潤表面状態でも施工可能である。
- d) 無機材料に近いので、紫外線などに対する耐久性が高く、剥落防止工への劣化対策が不要である。
- e) コンクリート界面の水分を適度に発散するので、ライニング材の膨れが生じない。

### 3. 材料仕様

ライニング材として用いるポリマーセメントモルタルには以下の性能が要求され、その性能より材料と仕様を選択した。性能と仕様を関係を表1に示す。

表1 ライニング材の要求性能と仕様

ライニング材の要求性能	ライニング材の仕様
a) 適当な粘度と流動性を持ち、施工性が良いこと。	a) 天井面への施工性よりモルタルフロー値の最大は 250, コテでの施工性から最小は 200 程度とした。
b) 要求される時間で硬化すること。	b) 速硬化形の場合には硬化時間 50 分程度, 普通形の場合には 6 時間程度とした(気温 20℃)。
c) 付着強度が大きいこと。	c) 管理機関の基準より付着強度 1.5N/mm <sup>2</sup> 以上とした。
d) 硬化後の耐久性(特に耐候性)に優れること。	d) ポリマーに耐候性と耐久性に優れたエポキシ変性アクリル樹脂を使用し, ポリマー結合材比を標準で 10%とした。

### 4. 使用材料の物性

#### 4.1 ライニング材

ライニング材として使用するポリマーセメントモルタル(PCM)はプレミックスされており、希釈したポリマー混和液を配合するだけでライニング材とすることができる。表2にライニング材の標準配合を、表3に標準配合の場合の物性試験結果を示す。

図3にライニング材圧縮強度の、図4に付着強度の経時変化を示す。なお、図中の凡例は養生気温を示す。普通形ライニング材の圧縮強度は気温 20℃以上において、材齢1日以降から強度を期待できるが、速硬化形の場合には3時間で強度を発現する。また、付着強度は普通および速硬化形の場合とも、材齢7日で1.5N/mm<sup>2</sup>以上を発現する。

#### 4.2 繊維シート

材質および強度を以下に示す。

材質 縦：ビニロン繊維(強度 0.8KN/50mm 幅以上, 伸度約 10%)

横：アラミド繊維(強度 1.0KN/50mm 幅以上, 伸度約 7%)

#### 4.3 アンカー

アンカーは注入口付きのものを使用し、脚部拡張後注入口から樹脂を注入する。アンカーは 4 本/m<sup>2</sup>に

表2 ライニング材の標準配合

名称	配合比率	主成分
PCM(プレミックスタイプ)	1.0	速硬化形セメント, 珪砂, 硬化調整剤
ポリマー混和剤希釈液	0.27 (1.5 倍液)	エポキシ変性アクリル樹脂エマルジョン

表3 標準配合ライニング材の物性試験結果

項目	速硬化形	普通形	
環境温度(℃)	20	20	
可使時間(分)	30	120	
硬化時間(分)	55	240	
単位容積質量(kg/m <sup>3</sup> )	1926	1913	
天井面への施工性	良	良	
圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	材齢 1 時間	0.3	—
	材齢 3 時間	3.1	—
	材齢 1 日	3.5	7.2
	材齢 3 日	12.1	21.9
	材齢 7 日	27.2	30.6
付着強度(N/mm <sup>2</sup> )	材齢 7 日	2.06	1.57
	材齢 28 日	2.34	2.28

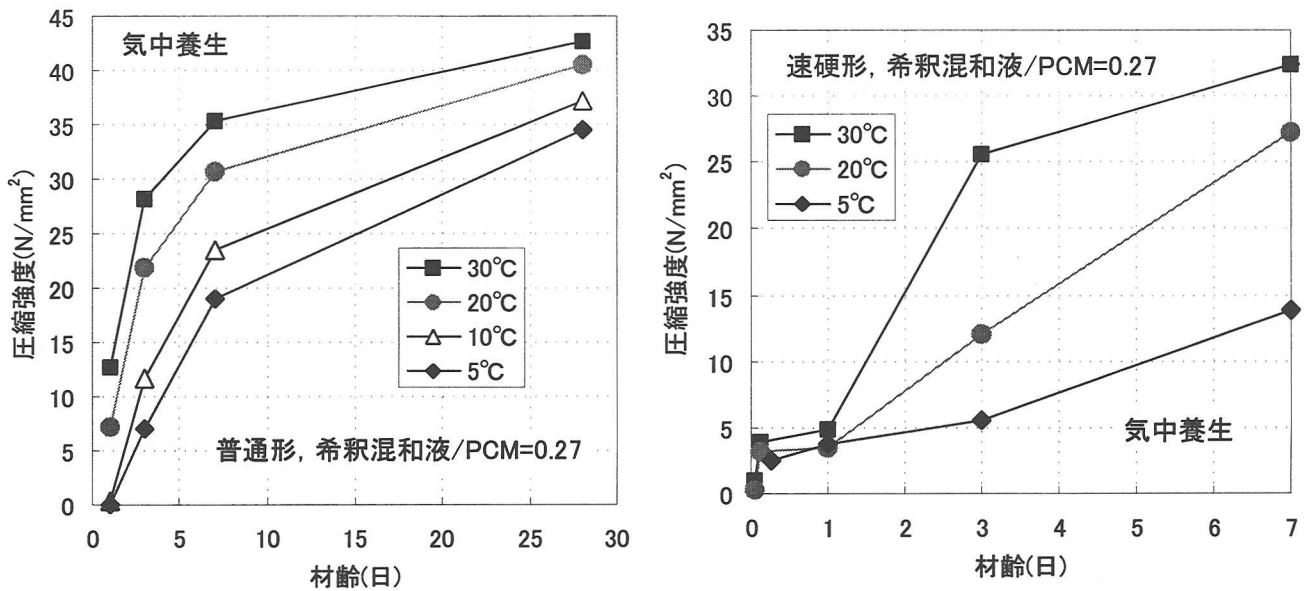


図3 ライニング材圧縮強度の経時変化

打設することを標準としている。アンカーの材質および強度を以下に示す。

材質：SUS304,

引抜強度：2.54KN(コンクリート埋込長 20mm)

シート破断抵抗力：1KN(φ 35mm ワッシャー使用)

### 5. 管理機関の基準と性能

剥落防止工法として用いられるシート接着工法には、一体化してコンクリート片の落下を防止する機能と、コンクリート劣化因子の侵入を抑制する機能が要求される。一般に、前者を規定する試験方法には押抜き試験と層間付着試験が用いられ、後者には耐久性試験が用いられる。図5に押し抜き試験の概要を示す。押抜き試験はU字溝用蓋の中央にφ100mmのコア抜きを

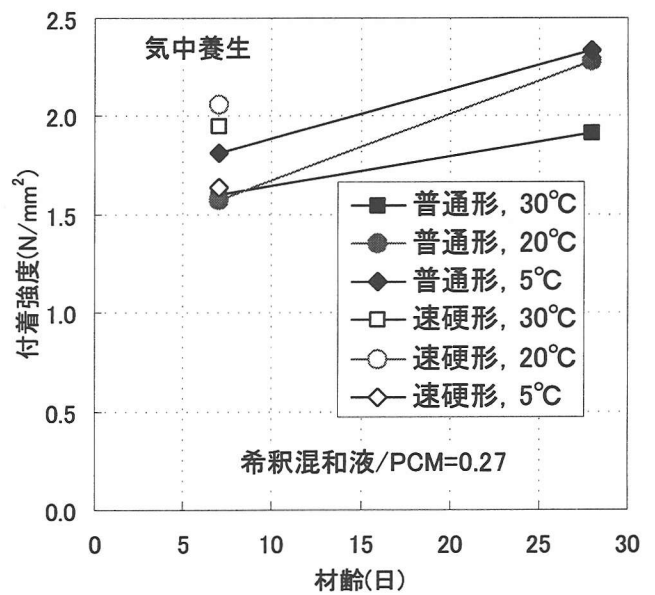


図4 ライニング材付着強度の経時変化

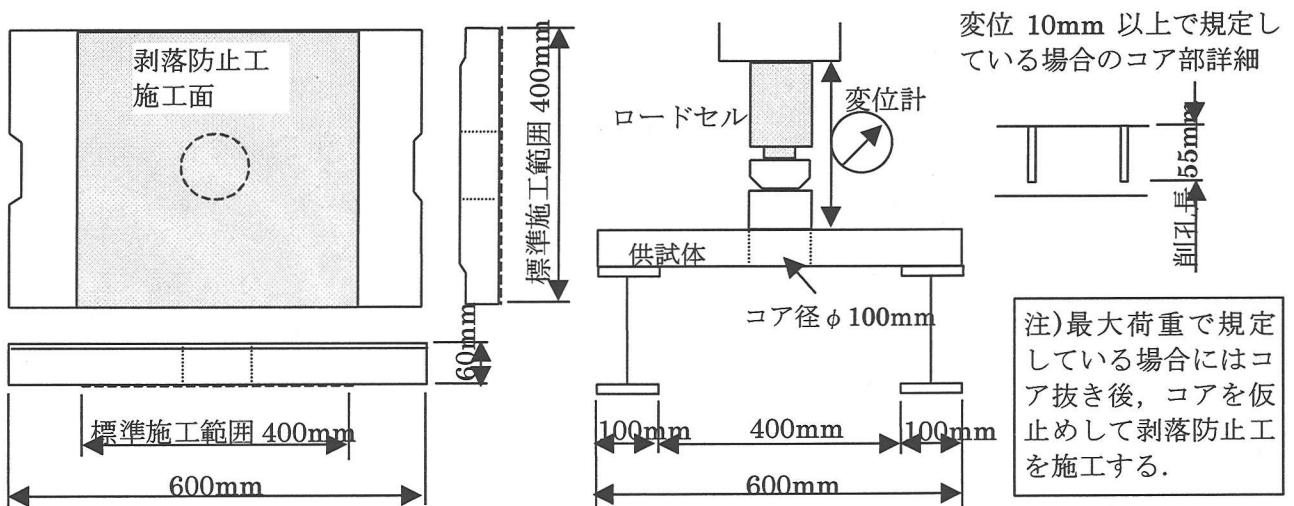


図5 押抜き試験の概要

行い、裏面に剥落防止工を施工する。本試験には管理機関により、基準値が押抜き変位を考慮する場合と、考慮しないで最大値で規定する場合がある。前者は鉄筋の膨張圧による剥落を想定して、変位 10mm 以上の変形後におけるシートの破断を重視しているのに対して、後者は初期の塗膜（ライニング材）の破壊荷重を重視している。

本工法の施工時には繊維シート継手が存在し、継手部の重ね長を 100mm としている。継手の繊維材質と、継手に対する押抜き荷重の位置により、5 種類の供試体を作成して試験に供した。

表 4 に押抜き供試体の種類と試験結果を、表 5 に管理機関における強度性状基準値と本工法の試験結果を、図 6 に押抜き試験結果の例を、写真 1 に押抜き試験時のコア部および試験後のコア部を示す。

継手が存在する場合には部分的に繊維シートが 2 枚使用されていることになり、コア端部に継手がある不利な場合であっても、標準部(継手無し)と比べて大きな値を示している。本工法の付着強度と押抜き荷重は管理機関の基準を満足する。

さらに、管理機関では剥落防止工法のコンクリート劣化要因の遮断性能基準を定めており、これは構造物内部の鉄筋腐食に関係する主な物質に関して規定している。項目としては、1)中性化抑止性、2)水蒸気透過性、3)酸素遮断性、4)塩化物イオン透過性がある。表 6 に試験方法を概説し、表 7 に基準値と試験結果を示

表 4 押抜き供試体の種類と試験結果

押抜き供試体の種類 (押抜き変位 10mm 以上)	押抜き荷重 (KN)
標準(継手無し)	2.17
アラミド繊維継手(コア中心に継手)	3.10
アラミド繊維継手(コア端部に継手)	2.25
ビニロン繊維継手(コア中心に継手)	3.25
ビニロン繊維継手(コア端部に継手)	2.58

表 5 管理機関における剥落防止工法の強度性状基準値と試験結果

機関名	付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )				押抜き荷重 (KN)	
	基準値		試験結果		基準値(規定)	試験結果
	標準養生	促進耐候試験後	標準養生	促進耐候試験後		
東海道新幹線	1.0	0.7	1.6	2.3	1.5 (最大荷重)	2.50
JR東日本	1.0	0.7			-	-
首都高速道路公団	1.5	1.5			1.5 (最大荷重)	2.50
日本道路公団	1.5	1.5			1.5 (押抜き変位10mm以上)	2.17 (試験結果の最小値)

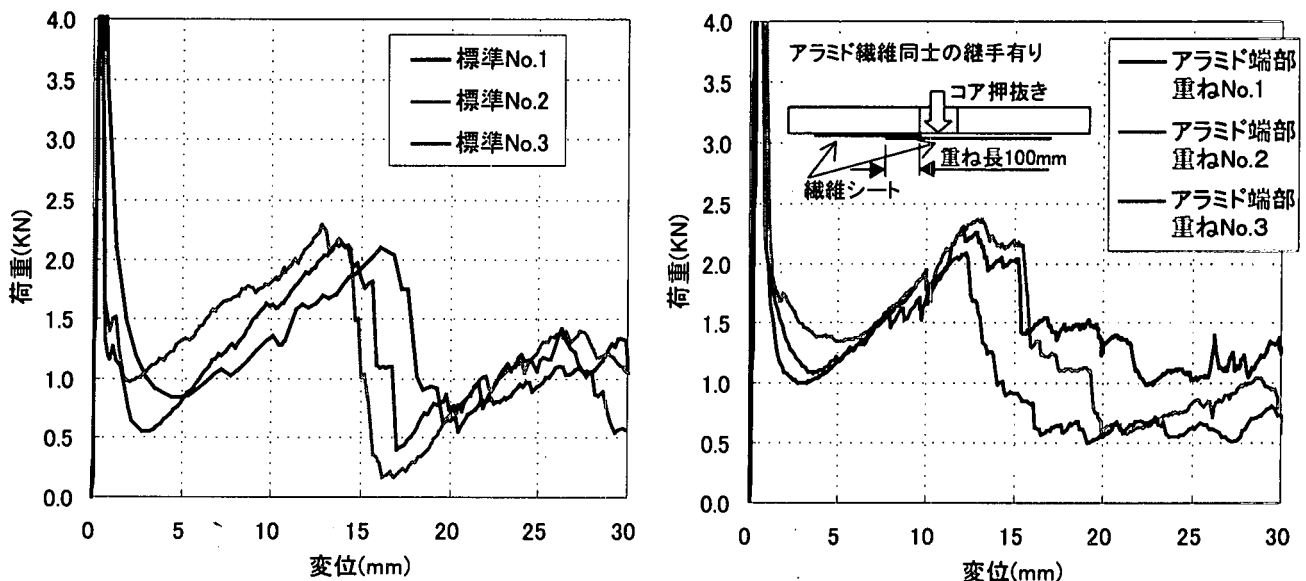


図 6 押抜き試験結果の例

す。この表より、本工法がコンクリート劣化要因に対して、十分な遮断性を有することが分かる。

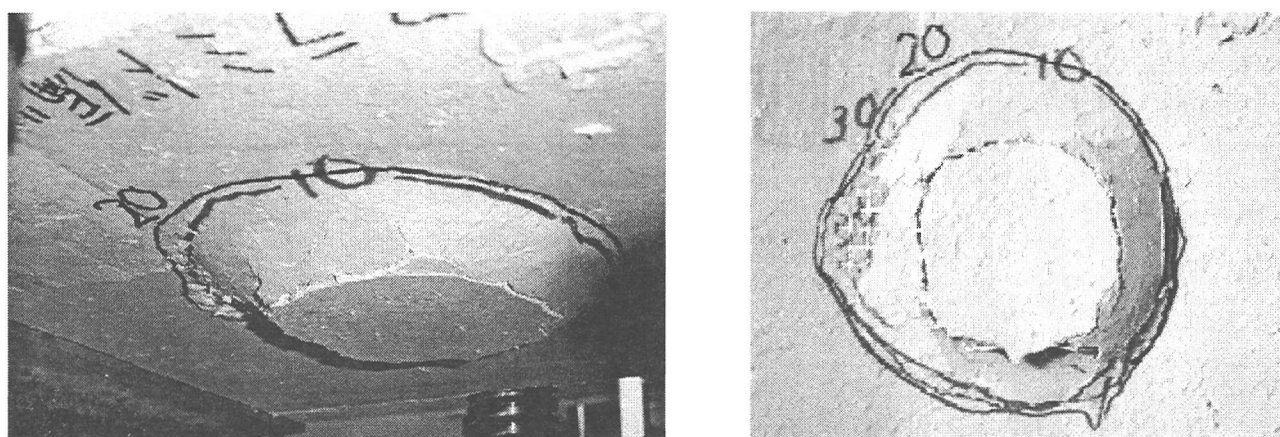


写真1 押抜き試験時のコア部および試験後のコア部

表6 剥落防止工法のコンクリート劣化要因の遮断性能試験方法

試験項目	試験方法
中性化抑止性 (mm)	水セメント比 65%, 100×100×100mm のモルタルの 4 面に塗装した後, 残りの 2 面(型枠に接していた面)に剥落防止工を施し, CO <sub>2</sub> 濃度 5%, 温度 20±3℃, 湿度 60%環境下で 10 週間静置する. その後, 施工面中心線に沿って割裂する. 割裂面にフェノールフタレイン 1%溶液を噴霧し, 赤変しない部分の最大深さを測定する.
水蒸気透過性 (mg/cm <sup>2</sup> ・日)	厚さ 3.5mm の試験片を作成し, 「JIS Z 0208 防湿梱包材量の透湿度試験方法」により試験する. 試験片を透湿カップを設置し, 試験片を境に一方の空気を 90%R.H.に, 他の側の空気を吸湿剤によって乾燥状態に保ち, 24 時間にこの境界を通過する水蒸気の質量を 1cm <sup>2</sup> ・日当たりに換算した値を水蒸気透過性として算出する.
酸素遮断性 (mg/cm <sup>2</sup> ・日)	厚さ 3.5mm の試験片を作成し, 「ASTM D 1434」に準拠して試験する. 試験片の片側に 1 気圧の酸素ガスを加え, 他の側を真空状態にして 23℃, 50%R.H.の環境下に置く. 試験片中に拡散して透過した酸素ガスによって減圧側の圧力が徐々に増加し, その圧力が時間に対して直線的に変化する時の勾配から酸素遮断性を求める.
塩化物イオン透過性 (mg/cm <sup>2</sup> ・日)	厚さ 3.5mm の試験片を作成し, 「JIS K 5400, 8.18 塩素イオン透過度」に準拠して試験する. 2 個の測定セル間に試験片を取付け, 一方のセルに脱イオン水を, 他方のセルに塩化ナトリウム 3%溶液を満たし, 20℃環境に 30 日間静置する. その後, 脱イオン水側のセルから溶液を採取し, 塩素イオン濃度を測定して, 試験片を透過した塩化ナトリウムの量を 1cm <sup>2</sup> ・日当たりに換算した値を, 塩化物イオン透過性として算出する.

表7 コンクリート劣化要因の遮断性能と本工法の試験結果

項目	養生方法	東海道 新幹線	J R 東日本	J R 西日本	首都高速 道路公団	日本道 路公団	本工法
中性化 抑止性	中性化促進 10 週間	3mm 以下	3mm 以下	1.2mm 以下	1mm 以下	—	0.0mm
水蒸気 透過性	3000 時間 促進耐候	10.0 mg/cm <sup>2</sup> ・日	—	—	—	—	1.1 mg/cm <sup>2</sup> ・日
酸素 遮断性	標準養生	—	0.05 mg/cm <sup>2</sup> ・日	1.0 mol/m <sup>2</sup> ・日	—	—	0.04 mg/cm <sup>2</sup> ・日
塩化物イ オン透過性	標準養生	—	—	—	—	0.0 mg/cm <sup>2</sup> ・日	0.0 mg/cm <sup>2</sup> ・日

## 6. 適用事例

ネットバリヤー工法 (C2)を RC 橋脚, トンネル, 高架橋などに適用した. 以下, 適用事例を概説する.

#### a) RC 橋脚耐震補強

本工事は関東地方での鉄道高架橋耐震補強に伴い、劣化が進行していた RC 門型ラーメン橋脚を補修するものであった。橋脚コンクリートには鉄筋に錆が発生し、所々で鉄筋が露出していた(写真 2 参照)。

#### b) 農業用水トンネル補修

延長 50m、幅 70cm×高さ 90cm の馬蹄形農業用水トンネルの補修を行った。内空が非常に小さく、しかも内部の湿気が高い構造物であるため、施工性が良く、表面が湿潤状態であっても施工可能な本工法を適用した(写真 3 参照)。

#### c) 高架橋補修

海岸に比較的近い地域にある鉄道高架橋の高欄およびはねだしスラブの補修を行った。竣工後 20 年程度しか経過していないが、内部鉄筋の発錆が部分的に生じていた(写真 4 参照)。

#### d) 煉瓦トンネル補修

大正期に構築された単線煉瓦トンネルの補修に本工法を適用した。多くの煉瓦にひび割れが発生していること、背面からの水分供給が時期によって多いことなどから、本工法を採用した。機電停止時間内に工事を終える必要があることから、速硬化のポリマーセメントモルタルを使用した(写真 5 参照)。

### 8. おわりに

ネットバリヤー工法(C2)による剥落防止工法と適用事例について報告した。今後は、適用事例を増やすと同時に、補強工法としての適用について検討する予定である。

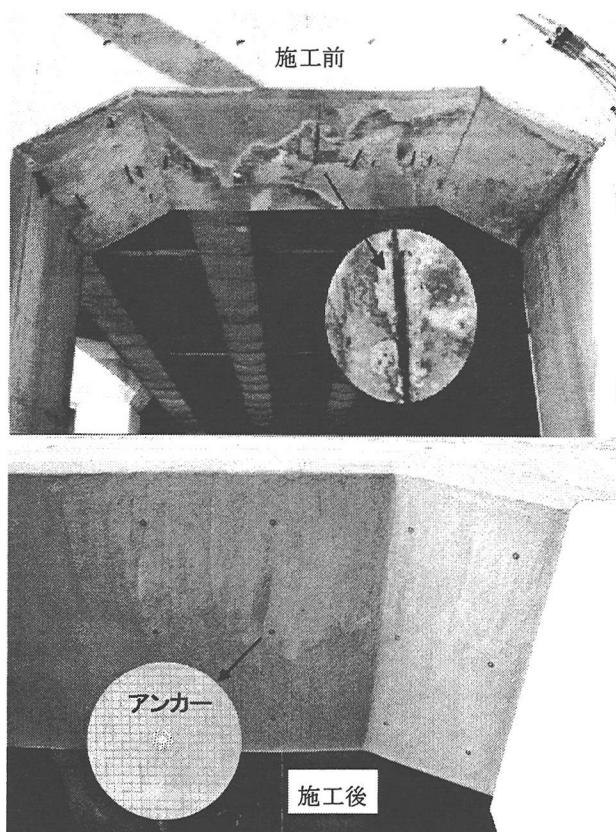


写真 2 RC 橋脚適用事例

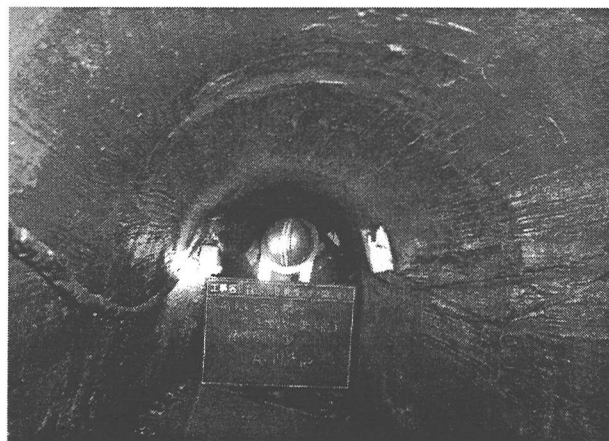


写真 3 農業用水トンネル適用事例

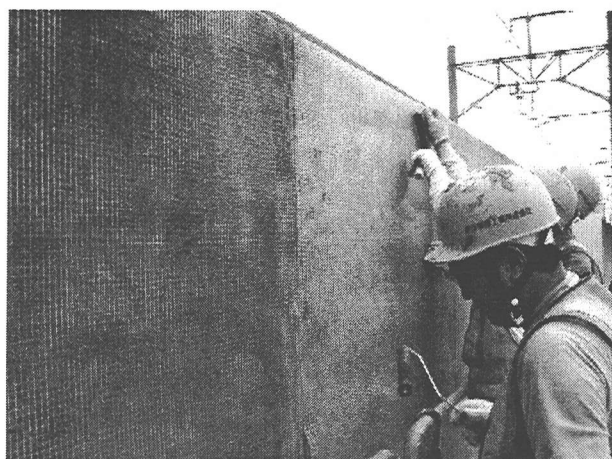


写真 4 高架橋適用事例



写真 5 煉瓦トンネル適用事例